บทที่ 4

การทดลองที่ 2 การศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์จากเครื่องในปลาทูน่าและหัวปลาทูน่าในอาหารปลากะพงขาว

4.1 บทคัดย่อ

ศึกษาการแทนที่ปลาป่นโดยใช้เครื่องในปลาทูน่า และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตในอาหารปลากะพงขาว ที่ระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์ และระดับการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นต่อการเจริญเติบโต น้ำหนักอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ และอัตราการรอดตาย โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตระดับ 0 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตดีกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ระดับ 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสตแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักอาหารที่กินสูงกว่าการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลต ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุด สำหรับประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนอัตราการรอดตายไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง

4.2 บทนำ

ปลากะพงขาวมีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในภูมิภาคเอเชีย เช่น ฮ่องกง อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ รวมทั้งประเทศไทยซึ่งมีการเลี้ยงทั้งด้านอ่าวไทยและด้านฝั่งทะเลอันดามันมานานกว่า 20 ปี ปัจจุบันการเลี้ยงปลากะพงขาวมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยในการเลี้ยงเกษตรกรนิยมใช้ปลาสดและปลาเป็ดเป็นอาหารปลากะพงขาว ซึ่งปลาดังกล่าวมีคุณค่าทาง

โภชนาการไม่สมดุล คุณภาพและปริมาณไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับฤดูกาล ส่งผลให้ปลาที่เลี้ยงอ่อนแอเป็นโรคง่าย มีอัตราการตายสูง อีกทั้งมีผลให้สภาพแหล่งเลี้ยงเสื่อมโทรมและน้ำเน่าเสีย นอกจากนี้การใช้ปลาเป็ดเป็นอาหารในการเลี้ยงปลาเป็นการใช้ทรัพยากรประมงที่ไม่คุ้มค่าเป็นเหตุให้ต้องมีการพัฒนารูปแบบของอาหารจากอาหารธรรมชาติเป็นอาหารสำเร็จรูป การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่าค่าใช้จ่ายมากกว่าครึ่งหนึ่งเป็นต้นทุนค่าอาหาร Tacon และ Jackson (1985) กล่าวว่าต้นทุนของการเลี้ยงปลาแบบพัฒนานั้นประมาณ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้นทุนในเรื่องอาหาร โดยสารอาหารประเภทโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำมีความสำคัญและมีราคาแพงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารอาหารประเภทอื่น อาหารปลาโดยทั่วไปจะมีโปรตีนประมาณ 30 – 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง โดยใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ โดยทั่วไปในการผลิตอาหารปลาจะมีปริมาณปลาป่นประมาณ 20 – 60 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีที่สุด เพราะโปรตีนในปลาป่นมีความสมดุลของกรดอะมิโน แต่ในปัจจุบันเริ่มประสบปัญหาเรื่องคุณภาพของปลาป่นที่มีคุณภาพโปรตีนไม่แน่นอน โดยเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของปลา กระบวน การผลิต กรรมวิธีการผลิตและฤดูกาล และเนื่องจากผลผลิตปลาที่นำมาใช้ผลิตปลาป่นมีปริมาณลดน้อยลง แต่ความต้องการใช้ปลาป่นมีเพิ่มขึ้น ทำให้มีการปลอมปนด้วยวัตถุดิบที่มีคุณภาพโปรตีนต่ำ เช่น ขนไก่ป่น เลือดป่น

จากสภาวะความต้องการปลาป่นที่เพิ่มขึ้น และความไม่แน่นอนของคุณภาพปลาป่น จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ต้องหาแหล่งโปรตีนอื่นๆ ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพอาหาร และการเจริญเติบโตของปลามาทดแทน เพื่อลดปริมาณปลาป่นที่ใช้ในการผลิตอาหารสำเร็จรูปลง โดยแหล่งโปรตีนที่นำมาทดแทนควรมีราคาถูก เพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านอาหาร มีคุณภาพดีและหาได้ง่าย วัตถุดิบพืชและวัสดุเศษเหลือจากสัตว์เป็นแหล่งโปรตีนที่นิยมนำมาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารปลา กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนพืชสำคัญที่นิยมนำมาใช้ เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดี เมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจะส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ดี ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก Shiau และคณะ (1990) พบว่าปลานิลซึ่งเป็นปลากินพืชสามารถใช้ถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นในอาหารได้ 30 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มระดับการแทนที่พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองป่นเป็นแหล่งโปรตีนเพียงอย่างเดียวจะมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปกติ 20 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1993) ซึ่งการใช้วัตถุดิบพืชเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง เนื่องจากวัตถุดิบพืชมีความไม่สมดุลของกรดอะมิโน เช่น เมทไธโอนีน ไลซีน และทรีโอนีน (Tacon, 1990) และสารต้านโภชนาการ ส่วนวัสดุเศษเหลือจากสัตว์ เช่น

เนื้อป่น เนื้อและกระดูกป่น จะมีสารต้านโภชนาการและคาร์โบไฮเดรทน้อยกว่าวัตถุดิบพืช แต่จะมีเถ้าจากกระดูกสูงซึ่งมีผลต่อลักษณะการคงรูปของเม็ดอาหาร และประสิทธิภาพการย่อยของปลา Stone (2000) พบว่าปลา silver perch *(Bidyanus bidyanus)* สามารถใช้อาหารที่มีเนื้อป่นทดแทนปลาป่นได้ 15 – 30 เปอร์เซ็นต์ โดยมีประสิทธิภาพการย่อยและการเจริญเติบโตดี

ประเทศไทยมีการผลิตอาหารทะเลทั้งเพื่อการส่งออกและการบริโภคในประเทศ โดยในปี 2546 ประเทศไทยมีการส่งออกสินค้าประมงประมาณ 1,651,360.08 ตัน มูลค่า 175,329.38 ล้านบาท (เครือวัลย์, 2547) ซึ่งในกระบวนการผลิตจะมีวัสดุเศษเหลือเช่น หัวปลาทูน่า เครื่องในปลาทูน่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (อารยา, 2536) และหัวกุ้งกุลาดำประมาณ 37 – 40 เปอร์เซ็นต์ (ไตรตะวัน, 2542) การใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำเพื่อทดแทนปลาป่น จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตปลากะพงขาวของเกษตรกรในอนาคต

4.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าในอาหารปลากะพงขาวต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

4.4 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

4.4.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 2x2x5 แฟคตอเรียล โดยใช้แผนการสุ่มบริบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 3 ปัจจัยคือ ชนิดของวัตถุดิบมี 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องในปลาทูน่า และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าอัตราส่วน 2:1 ชนิดของผลิตภัณฑ์มี 2 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ป่น และโปรตีนไฮโดรไลเสต และระดับการแทนที่ในอาหาร 5 ระดับ คือ 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ และจัดชุดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ชุดการทดลอง 20 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ชนิดวัตถุดิบ	ชนิดผลิตภัณฑ์	ระดับการแทนที่
1 (ชุดควบคุม)[1]	เครื่องในปลาทูน่า	ป่น	0
2	เครื่องในปลาทูน่า	ป่น	25
3	เครื่องในปลาทูน่า	ป่น	50
4	เครื่องในปลาทูน่า	ป่น	75
5	เครื่องในปลาทูน่า	ป่น	100
6 (ชุดควบคุม)	เครื่องในปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	0
7	เครื่องในปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	25
8	เครื่องในปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	50
9	เครื่องในปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	75
10	เครื่องในปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	100
11 (ชุดควบคุม)	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	ป่น	0
12	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	ป่น	25
13	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	ป่น	50
14	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	ป่น	75
15	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	ป่น	100
16 (ชุดควบคุม)	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	0
17	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	25
18	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	50
19	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	75
20	ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	โปรตีนไฮโดรไลเสต	100

[1] ชุดควบคุมมีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก

4.4.2 การเตรียมปลา

นำปลากะพงขาวที่มีความยาวประมาณ 2 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.5 กรัม/ตัวมาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสทรงกลมขนาดความจุ 1 ตัน จำนวน 1 ใบ โดยปล่อยปลาจำนวน 2,000 ตัว เลี้ยงในน้ำความเค็มประมาณ 28 – 30 ส่วนในพัน และให้ออกซิเจนตลอดเวลา อนุบาลโดยให้อาหารสำเร็จรูปเป็นเวลา 30 วัน เพื่อฝึกให้ปลาเคยชินกับอาหารสำเร็จรูป จากนั้นจึงคัดปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 3.0 กรัม จำนวน 30 ตัว นำมาใส่ตู้ทดลองที่มีความจุน้ำประมาณ 100 ลิตร จำนวน 60 ตู้ แล้วเริ่มฝึกให้ปลาคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมและอาหารทดลองโดยให้อาหารวันละ 2 มื้อ จนปลาอิ่ม เลี้ยงจนกระทั่งปลายอมรับอาหารทุกชุดการทดลอง จากนั้นจึงคัดปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันโดยการชั่งน้ำหนักรวมในแต่ละตู้ บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของปลา ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยระหว่าง 3.25$\pm$0.13 ถึง 3.38$\pm$0.10 ให้เหลือจำนวน 15 ตัว/ตู้ โดยก่อนชั่งสลบปลาด้วย 2 – phenoxyethanol ความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร และเก็บตัวอย่างปลาจำนวน 50 ตัวน้ำหนักรวมประมาณ 25 กรัม เพื่อนำมาหาองค์ประกอบทางเคมีของปลาเมื่อเริ่มการทดลองตามวิธีของ AOAC (1990)

4.4.3 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ทดลองเป็นอาหารเม็ดแห้ง โดยสร้างสูตรอาหารทดลอง 20 สูตรตามแผนการทดลองในข้อ 4.4.1 กำหนดให้อาหารทดลองทุกสูตรมีระดับโปรตีนรวมประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และไขมันประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ (ดัดแปลงจากมะลิและคณะ, 2539) โดยกำหนดให้อาหารสูตรควบคุม (สูตรที่ 1, 6, 11 และ 16) มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักโดยองค์ประกอบของอาหารสูตรควบคุมและสูตรที่มีการแทนที่ที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 5, 10, 15 และ 20) ดังแสดงในตารางที่ 8 อาหารทดลองสูตรที่ 2, 3, 4, 5 มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่น อาหารทดลองสูตรที่ 7, 8, 9, 10 มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า อาหารทดลองสูตรที่ 12, 13, 14, 15 มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น อาหารทดลองสูตรที่ 17, 18, 19, 20 มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า ที่ระดับ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (องค์ประกอบของอาหารสูตรที่ 1 – 20 ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ค 14 และ15)

ชั่งส่วนประกอบของอาหารแต่ละชนิดได้แก่ ปลาป่น เครื่องในปลาทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า ส่วนผสมเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า หัวกุ้งป่น รำ วิตามินรวม แร่ธาตุรวม บีเอชที แป้งข้าวเจ้า

และแกลบป่น ตามส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 8 ผสมส่วนประกอบของอาหารให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหาร เติมน้ำมันปลาที่ผสมวิตามินที่ละลายในน้ำมันผสมกับส่วนประกอบอาหารอื่น ๆ หลังจากนั้นเติมน้ำ 30 เปอร์เซ็นต์ ผสมให้ทุกส่วนเข้ากันดีเติมแป้งมันที่ทำให้สุกแล้วและผสมต่อให้ส่วนประกอบผสมกันดี แล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร (Hobart) ผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร นำอาหารที่อัดเม็ดแล้วอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอาหารแห้ง นำไปบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทธีลีนและเก็บในถุงดำเพื่อป้องกันแสง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อรอการใช้งาน ในระหว่างทำการทดลองจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำอาหารทุกสูตรวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และความชื้นตามวิธีการของ AOAC (1990)

ตารางที่ 8 องค์ประกอบของอาหารสูตรควบคุม และสูตรที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ป่น และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ (กรัม /100 กรัม)

ส่วนประกอบของอาหาร	สูตรอาหาร				
	1	5	10	15	20
ปลาป่น (63 % โปรตีน)	56	0	0	0	0
เครื่องในปลาทูน่าป่น	-	58	-	-	-
โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า	-	-	45	-	-
ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น	-	-	-	61	-
โปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า	-	-	-	-	49
หัวกุ้งป่น	11	11	11	11	11
รำ	11	11	11	11	11
น้ำมันปลา	4	2	7	4	7
วิตามินรวม[1]	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
แร่ธาตุรวม[2]	4	4	4	4	4
บีเอชที	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
แป้งมัน	3	3	3	3	3
แป้งข้าวเจ้า	4.7	4.8	6.7	4.28	7.5
แกลบป่น	5.08	4.98	11.08	0.5	6.28
พลังงานรวม[3] (แคลอรี่/อาหาร 100 กรัม)	394.93	394.82	394.42	392.59	394.95

[1]วิตามินรวม (มก./กก. อาหาร) : Thaimin HCl 60 , Riboflavin 00, Pyridoxine HCl 40, Choline chloride 5,000, Niacin 400, Ca – Pantothenate 100, Ascorbic acid 500, Inositol 2,000, Biotin 6, Folic acid 15, Vitamin B_{12} 0.1, Menadione 50, Tocopherol acetate 100, Vitamin AD_3 (500 IU of A+100 IU of D_3/mg) 8.

[2]แร่ธาตุรวม (ก./กก. อาหาร) : $CaHPO_4$ 8, NaH_2PO_4 $2H_2O$ 15, KH_2PO_4 10, KCl 5.

[3]พลังงานรวม (แคลอรี่/กรัมอาหาร) คำนวณจากค่าพลังงานของโปรตีน = 5.64, ไขมัน =9.44 แคลลอรี่และคาร์โบไฮเดรท = 4.11 แคลลอรี่ (NRC, 1993)

4.4.4 ระบบเลี้ยง

น้ำที่ใช้ในการทดลองมีความเค็ม 28 - 30 ส่วนในพัน พีเอช 7.80 - 8.45 โดยมีการให้ออกซิเจนตลอดเวลาเพื่อให้มีออกซิเจนละลายในน้ำประมาณ 6 - 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำความสะอาดตู้ทดลองทุกวันและเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ทุกเช้าก่อนการให้อาหาร

4.4.5 การศึกษาการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ติดป้ายชุดการทดลองและซ้ำที่ได้สุ่มตัวอย่างไว้ให้อาหารตามชุดการทดลองดังในข้อ 5.3.1 โดยปลาที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรมีจำนวน 3 ซ้ำ ให้อาหารจนอิ่มวันละ 2 มื้อ เวลา 09.00 น.และเวลา 15.00 น. เป็นเวลา 10 สัปดาห์

ชั่งน้ำหนักปลาทุก 2 สัปดาห์ในระหว่างการเลี้ยงด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง โดยการชั่งน้ำหนักรวมของปลาแต่ละตู้ ในช่วง 2 สัปดาห์แรก แล้วนำมาคิดค่าเฉลี่ยของปลาแต่ละตัว และชั่งน้ำหนักปลาแต่ละตัวในแต่ละตู้ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ถึงสิ้นสุดการทดลอง สังเกตพฤติกรรมและอาการผิดปกติของปลาในแต่ละตู้ทดลองทุกวัน หากปลามีอาการผิดปกติก็จะนำไปตรวจเชื้อแบคทีเรีย และปรสิต รวมทั้งบันทึกจำนวนปลาที่ผิดปกติและตายของปลาในแต่ละชุดการทดลองตลอดการศึกษา

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ชั่งน้ำหนักปลาแต่ละตัวในแต่ละตู้ นับจำนวนปลาที่เหลืออยู่และสังเกตอาการปลาพร้อมทั้งจดบันทึก และเก็บตัวอย่างปลาจากทุกชุดการทดลองจำนวน 5 ตัวต่อตู้ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของปลาตามวิธีของ AOAC (1990) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณ การรอดตาย (survival rate) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม (%, weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion rate, FCR) น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (Feed intake) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, PER) โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (productive protein value, PPV) (Steffens, 1989) ของปลาในแต่ละชุดการทดลองจากสูตร ดังนี้

$$\text{อัตราการรอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือ}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักปลาสุดท้าย-น้ำหนักปลาเริ่มต้น})}{\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน) = $\frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \times 100$

W_1 = น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น W_2 = น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย

t_1 = วันเริ่มต้นทำการทดลอง t_2 = วันที่สิ้นสุดการทดลอง

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ = $\frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = $\frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}}$

โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (%) = $\frac{\text{โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)}} \times 100$

4.4.6 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ในการทดลองทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำในตู้ ทดลองทุก 2 สัปดาห์ (โดยการสุ่มชุดการทดลอง 2 ซ้ำ) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ความเค็มของน้ำโดยใช้ Refracto Salinometer ความเป็นกรด-ด่างด้วย pH meter ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำโดยใช้ DO meter ปริมาณแอมโมเนียรวมตามวิธีของ Strickland และ Parson (1972)

4.4.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์มาหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan' s New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SAS 10.01

4.5 ผลและวิจารณ์

4.5.1 องค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง 20 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าอาหารทดลองมีโปรตีนอยู่ในช่วง 42.22 – 43.60 เปอร์เซ็นต์ ไขมันอยู่ในช่วง 11.11 – 13.78 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 13.34 – 21.99 เปอร์เซ็นต์ โดยอาหารสูตรที่ 2 – 5 ซึ่งมีเครื่องในปลาทูน่าป่นแทนที่ปลาป่นมีปริมาณเถ้าลดลงเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเครื่องในป่นมีปริมาณเถ้าในปริมาณน้อยกว่าปลาป่นขณะที่สูตรที่ 12 – 15 ซึ่งมีส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่นแทนที่ปลาป่นจะมีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่นมีปริมาณเถ้าสูงกว่าเครื่องในปลาทูน่าป่น ส่วนอาหารสูตรที่ 7 - 10 ซึ่งมีโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าแทนที่ปลาป่นมีปริมาณเถ้าลดลงเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจะทำการแยกส่วนที่ไม่ละลายในระหว่างขั้นตอนการย่อยสลายออกไป ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณเถ้าต่ำเช่นเดียวกับอาหารสูตรที่ 17 – 20 ซึ่งมีโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลา ทูน่าแทนที่ปลาป่นซึ่งมีปริมาณเถ้าลดลงเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น ส่วนความชื้นในอาหารทดลองอยู่ในช่วง 1.19 – 6.63 เปอร์เซ็นต์ โดยอาหารสูตรที่ 7 -10 และ 17– 20 ซึ่งมีโปรตีนไฮโดรไลเสต แทนที่ปลาป่นมีความชื้นสูงกว่าสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ป่น เนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเสตมีความชื้นสูง (ตารางที่ 9) ทำให้อาหารทดลองที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตมีความชื้นสูง

ปริมาณองค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลองที่มีผลิตภัณฑ์จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำแทนที่โปรตีนจากปลาป่น ดังแสดงในตารางที่10 พบว่าอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ป่นมีปริมาณ ไอโซลูซีน ลูซีน ไลซีน ทรีโอนีน และวาลีน ในอาหารน้อยกว่าอาหารสูตรควบคุมที่ทุกระดับการแทนที่ เนื่องจากวัสดุเศษเหลือที่นำมาใช้มีกรดอะมิโนชนิดดังกล่าวในปริมาณน้อยกว่าในปลาป่น ขณะที่อาร์จินีนและฮีสติดีนมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการแทนที่สูงขึ้น โดยอาหารสูตรที่ 5 และ 15 ที่แทนที่ด้วยเครื่องในป่นและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่นที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีฮีสติดีนเท่ากับ 1.30 และ 1.31 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณอาร์จินีนซึ่งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามระดับการแทนที่ โดยในอาหารที่แทนที่ด้วยเครื่องในป่นและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่นที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีอาร์จินีนเท่ากับ 3.42 และ 3.01 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนตามลำดับ เนื่องจากในปลาป่นมีปริมาณของกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ป่น แต่เมื่อผลิตเป็นโปรตีนไฮโดรไลเสต พบว่าทำให้ปริมาณอาร์จินีนในโปรตีนไฮโดรไลเสตลดน้อยลง (ตารางที่ 6 การทดลองที่ 1) และเมื่อนำมาแทนที่ปลาป่นจึงทำให้

ปริมาณอาร์จินีนในอาหารลดน้อยลงและมีระดับต่ำกว่าสูตรควบคุมและที่แทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ปน สำหรับระดับฮีสติดีนในอาหารที่แทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่ามีระดับใกล้เคียงกันทุกระดับการแทนที่ ส่วนการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต จากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณที่มีในโปรตีนไฮโดรไลเสต มีระดับใกล้เคียงกับปลาป่น

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลองสูตรต่างๆ [1]

สูตรอาหาร	องค์ประกอบทางโภชนาการ (เปอร์เซ็นต์)			
	โปรตีน [2]	ไขมัน [2]	เถ้า [2]	ความชื้น
1	42.48 ± 0.02	12.10 ± 0.30	19.86 ± 0.10	1.19 ± 0.22
2	43.58 ± 0.39	12.76 ± 0.52	19.29 ± 0.23	3.19 ± 0.11
3	42.91 ± 0.24	12.08 ± 0.04	18.95 ± 0.20	1.74 ± 0.06
4	42.54 ± 0.43	12.51 ± 1.24	17.26 ± 0.68	1.28 ± 0.25
5	43.23 ± 0.17	11.93 ± 0.53	17.01 ± 0.22	2.30 ± 0.12
6	42.48 ± 0.02	12.10 ± 0.30	19.86 ± 0.10	1.19 ± 0.22
7	43.20 ± 0.80	13.78 ± 0.26	18.28 ± 0.20	5.38 ± 0.01
8	42.75 ± 0.08	12.74 ± 0.22	16.61 ± 0.09	5.32 ± 0.14
9	42.42 ± 0.48	13.47 ± 0.17	14.98 ± 0.11	2.84 ± 0.09
10	42.97 ± 0.09	11.11 ± 1.09	13.34 ± 0.32	2.94 ± 0.31
11	42.48 ± 0.02	12.10 ± 0.30	19.86 ± 0.10	1.19 ± 0.22
12	43.09 ± 0.72	11.85 ± 0.61	20.21 ± 0.06	1.81 ± 0.27
13	42.82 ± 0.96	13.70 ± 0.01	20.98 ± 0.14	1.83 ± 0.27
14	42.65 ± 0.26	12.96 ± 1.21	21.39 ± 0.13	1.29 ± 0.19
15	42.67 ± 0.18	12.79 ± 0.08	21.99 ± 0.14	1.21 ± 0.13
16	42.48 ± 0.02	12.10 ± 0.30	19.86 ± 0.10	1.19 ± 0.22
17	43.60 ± 0.43	11.79 ± 1.30	18.44 ± 13.1	6.63 ± 0.21
18	42.22 ± 0.04	13.05 ± 0.90	17.33 ± 0.17	2.74 ± 0.01
19	42.65 ± 0.58	13.57 ± 0.82	15.59 ± 0.25	2.84 ± 0.10
20	42.55 ± 0.26	13.59 ± 0.08	13.44 ± 0.08	3.12 ± 0.15

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[2] ค่าบนฐานของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 10 องค์ประกอบกรดอะมิโน (เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน) ของอาหารทดลองที่มีผลิตภัณฑ์จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับต่างๆ

กรดอะมิโนชนิดจำเป็น[2]	เปอร์เซ็นต์																
	สูตรควบคุม[1]	เครื่องในปลาทูน่าป่น				โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า				ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น				โปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า			
	0%	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
Arginine	2.32	2.58	2.79	3.06	3.41	2.23	2.17	2.08	1.99	2.48	2.69	2.85	3.01	2.20	2.08	2.01	1.89
Histidine	0.83	0.94	1.03	1.15	1.30	0.85	0.89	0.92	0.95	0.94	1.08	1.20	1.31	0.88	0.95	1.03	1.11
Isoleucine	1.70	1.60	1.48	1.38	1.31	1.54	1.41	1.25	1.08	1.59	1.49	1.37	1.25	1.55	1.38	1.25	1.07
Leucine	2.76	2.60	2.41	2.25	2.15	2.48	2.24	1.95	1.65	2.59	2.46	2.29	2.12	2.51	2.23	2.02	1.72
Lysine	2.73	2.39	2.02	1.68	1.37	2.33	1.97	1.57	1.14	2.39	2.07	1.72	1.38	2.39	2.01	1.72	1.31
Threonine	1.56	1.56	1.53	1.52	1.55	1.48	1.43	1.35	1.27	1.55	1.56	1.55	1.54	1.50	1.43	1.39	1.32
Valine	1.94	1.82	1.68	1.56	1.47	1.76	1.61	1.43	1.24	1.83	1.75	1.64	1.53	1.77	1.58	1.45	1.25

[1] สมาคมผู้ผลิตปลาป่นไทย (2544)

[2] Methionine Phenylalanine และ Tryptophan ไม่มีผลการวิเคราะห์

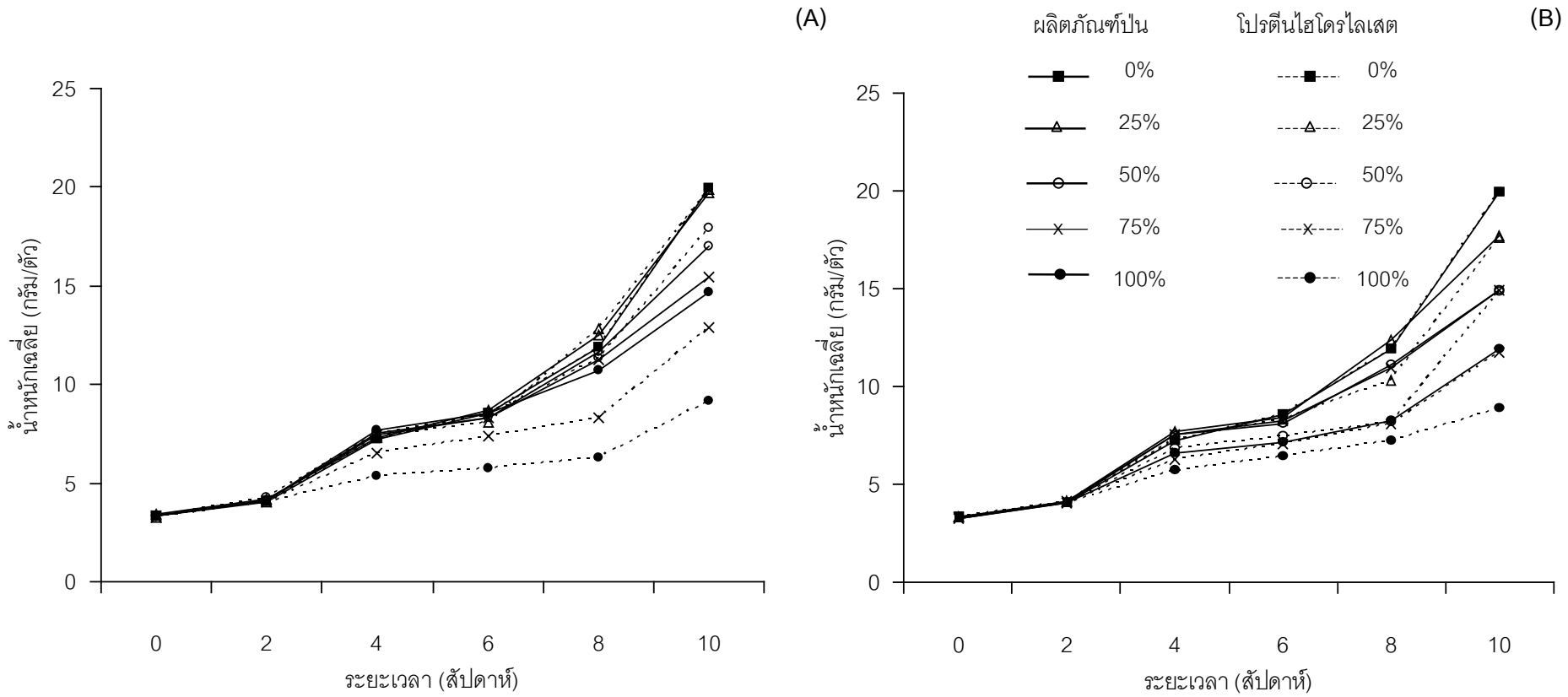
4.5.2 การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระยะเวลาทุก 2 สัปดาห์ ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตและมีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายต่ำที่สุดใกล้เคียงกันเท่ากับ 9.13 และ 8.86 กรัมต่อตัวตามลำดับ รองลงมาคือโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่นที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายเท่ากับ 11.72, 11.90 และ 12.87 กรัมต่อตัวตามลำดับ

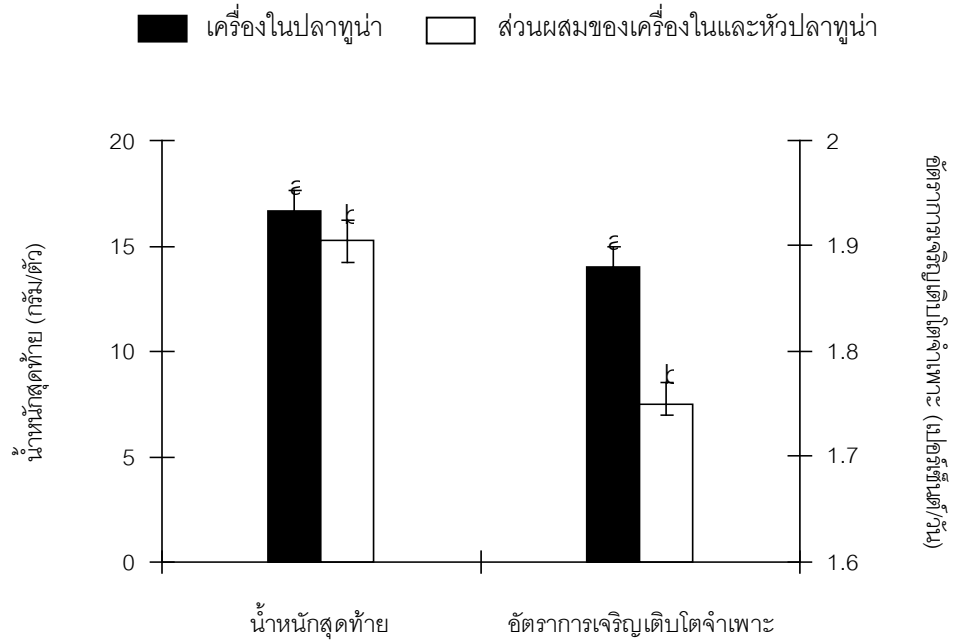
น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 20 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 11 พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักและมีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงใกล้เคียงกัน โดยชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์ และระดับการแทนที่ ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (3 factor interaction) ต่อน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ($p>0.05$) แต่ชนิดของวัตถุดิบมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์จากเครื่องในปลาทูน่ามีค่าสูงกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมเครื่องในและหัวปลาทูน่า (ภาพที่ 7) และเมื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดคือ ผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต และแทนที่ที่ระดับต่างๆ พบว่าชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับการแทนที่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเจริญเติบโต (ตารางที่ 12) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ป่น และโปรตีนไฮโดรไลเสตแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (18.70 ± 1.68, 18.73 ± 1.67) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (454.41 ± 42.85, 463.45 ± 47.63) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (2.04 ± 0.09, 2.06 ± 0.10) ไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก (แทนที่ 0 เปอร์เซ็นต์) แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่แทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์มีน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ป่นที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากการแทนที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับ

อาหารที่แทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และพบว่าการเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ปน 100 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่แทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นแหล่งโปรตีน 100 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำที่สุด ($p<0.05$)

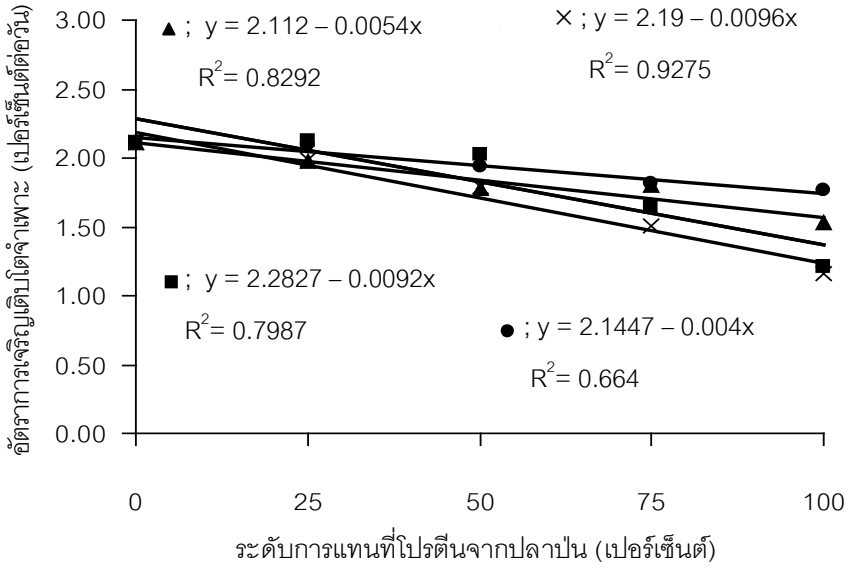
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะพงที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับต่าง ๆ พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม (ภาพที่ 8) คือเมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้นอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะพงขาวจะมีค่าลดลง โดยระดับการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะลดลงเท่ากับ 0.04 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ส่วนการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะลดลงเท่ากับ 0.092 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ในขณะที่ระดับการแทนที่ด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น เพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะจะลดลงเท่ากับ 0.054 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และระดับการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะจะลดลงเท่ากับ 0.096 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน จะเห็นได้ว่าการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นจะมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะลดลงน้อยที่สุด และจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อมีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า



เฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์จากเครื่องใน (A) และผลิตภัณฑ์จากส่วนผสมของเครื่องใน
ปลาทูน่า (B) ที่ระดับต่างๆ ทุก 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์



ภาพที่ 7 น้ำหนักสุดท้าย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์จากเครื่องในและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะพงขาว

● = เครื่องในปลาทูน่าป่น ■ = โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า

▲ = ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น

× = โปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า

จากผลการศึกษาพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยวัสดุเศษเหลือที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก โดยการเจริญเติบโตจะมีค่าลดลงตามระดับการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นในอาหารที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต ที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่น ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลา ทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของ เครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ ปลากะพงขาว ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ที่ระดับ 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากปลาป่นเพียงอย่างเดียว เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้งที่เป็นป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น คือ ไอโซลูซีน ลูซีน ไลซีน ทรีโอนีน และวาลีน ในปริมาณต่ำกว่าปลาป่น และเมื่อนำมาใช้แทนที่ในระดับที่เพิ่มขึ้นปริมาณกรดอะมิโนดังกล่าวในอาหารจะลดลง โดยมีปริมาณต่ำสุดเมื่อมีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต จากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีไอโซลูซีน (1.07 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน) ลูซีน (1.72 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน) ไลซีน (1.31 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน) ทรีโอนีน (1.32 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน) และวาลีน (1.25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน) ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนเพียงอย่างเดียว (ไอโซลูซีน 1.70, ลูซีน 2.76, ไลซีน 2.73, ทรีโอนีน 1.56 และวาลีน 1.94 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน) การแทนที่ปลาป่นในระดับที่สูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ จึงมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็น และไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลา จึงมีผลทำให้ปลามีการเจริญเติบโตต่ำเช่นเดียวกับ Li และคณะ (2004) พบว่าปลา red drum ที่ได้รับอาหารที่มีหัวปลาแซลมอนป่นที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่น (menhaden fish meal) เป็นแหล่งโปรตีนหลักแต่ปลา red drum ที่ได้รับอาหารที่มีหัวกุ้งป่นแทนที่ปลาป่นจะมีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ เนื่องจากหัวกุ้งป่นมีปริมาณของไลซีนและเมทไธโอนีนต่ำกว่าในปลาป่น Fanimo และคณะ (2000) เปรียบเทียบคุณภาพของโปรตีนในเศษเหลือจากการแปรรูปกุ้งกับปลาป่น พบว่าโปรตีนของเศษเหลือมีคุณภาพด้อยกว่าโปรตีนในปลาป่น และการเสริมไลซีนและเมทไธโอนีนลงในหัวกุ้งป่นทำให้คุณภาพของโปรตีนในหัวกุ้งป่นดีขึ้น โดย Kim และคณะ (1992) ศึกษาความต้องการไลซีนและอาร์จินีนในปลาเรนโบว์เทร้า พบว่าการเสริมไลซีนและอาร์จินีนในอาหารปลาเรนโบว์เทร้าให้มีปริมาณเพียงพอ

(3.71 และ 4.03 เปอร์เซ็นต์โปรตีน) จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น

การศึกษาครั้งนี้ปลากะพงที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าและโปรตีนไฮโดรไลเสตจาก ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีปริมาณของกรดอะมิโนในอาหารสูงกว่า ดังนั้นการเสริมกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิดที่มีปริมาณน้อยลงไปในอาหารที่มีเครื่องในปลาทูน่าป่น 100 เปอร์เซ็นต์ ให้มีปริมาณใกล้เคียงกับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่มีปลาป่นเพียงอย่างเดียว ส่วนการเสริมกรดอะมิโนลงไปในอาหารสูตรอื่นๆ โดยเฉพาะที่มีการแทนที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าเนื่องจากต้องเสริมกรดอะมิโนในปริมาณมาก เพื่อให้มีปริมาณใกล้เคียงกับสูตรอาหารที่มีการเจริญเติบโตดี รวมถึงวิธีในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจะมีต้นทุนสูงและมีวิธีการผลิตซับซ้อนกว่าการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่น

ตารางที่ 11 น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตระดับต่างๆ กัน[1]

ชนิดของวัตถุดิบ[2]	ชนิดของผลิตภัณฑ์[3]	ระดับการแทนที่ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม[4]	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)[5]
1	1	0	19.94±1.73	492.92±59.33	2.12±0.12
1	1	25	19.72±1.96	483.21±44.16	2.10±0.09
1	1	50	16.99±1.59	412.00±50.03	1.94±0.12
1	1	75	15.42±1.80	359.53±53.41	1.81±0.14
1	1	100	14.68±1.24	338.95±40.37	1.76±0.11
1	2	0	19.94±1.73	492.92±59.33	2.12±0.12
1	2	25	19.84±1.47	496.81±39.89	2.13±0.08
1	2	50	17.92±0.47	448.05±13.27	2.02±0.03
1	2	75	12.87±0.90	297.13±39.45	1.64±0.11
1	2	100	9.13±0.75	178.38±32.67	1.21±0.14
2	1	0	19.94±1.73	492.92±59.33	2.12±0.12
2	1	25	17.68±0.34	425.61±12.30	1.98±0.03
2	1	50	14.96±0.58	348.43±20.06	1.78±0.06
2	1	75	14.95±0.96	352.96±37.53	1.80±0.10
2	1	100	11.90±0.89	260.75±29.68	1.53±0.10

ตารางที่ 11 (ต่อ) [1]

ชนิดของวัตถุดิบ[2]	ชนิดของผลิตภัณฑ์[3]	ระดับการแทนที่ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม[4]	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)[5]
2	2	0	19.94±1.73	492.92±59.33	2.12±0.12
2	2	25	17.60±1.04	430.09±27.25	1.98±0.06
2	2	50	14.86±0.49	351.33±21.46	1.79±0.06
2	2	75	11.72±1.20	253.95±35.71	1.50±0.12
2	2	100	8.86±0.35	165.52±12.83	1.16±0.06
ชนิดวัตถุดิบ			0.0001	0.0002	0.0001
ชนิดผลิตภัณฑ์			0.0002	0.0014	0.0001
ระดับการแทนที่			0.009	0.0001	0.0001
ชนิดวัตถุดิบ*ชนิดผลิตภัณฑ์			0.825	0.898	0.876
ชนิดวัตถุดิบ*ระดับการแทนที่			0.122	0.150	0.175
ชนิดผลิตภัณฑ์*ระดับการแทนที่			0.0001	0.0001	0.0001
ชนิดวัตถุดิบ*ชนิดผลิตภัณฑ์*ระดับการแทนที่			0.469	0.551	0.408

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

[2]1 = เครื่องในปลาทูน่า ; 2 = ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า (2:1)

[3]1 = ผลิตภัณฑ์ปัน ; 2 = โปรตีนไฮโดรไลเสต

[4]เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) – น้ำหนักเริ่มต้น(กรัม/ตัว))x 100/น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)

[5]อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ $=\ln w_2-\ln w_1 x100/ t_2-t_1$

ตารางที่ 12 อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับการแทนที่ต่อน้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตระดับต่าง ๆ กัน [1]

ชนิดของผลิตภัณฑ์ [2]	ระดับการแทนที่ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม [3]	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) [4]
1	0	19.94±1.55^{a}	492.92±53.07^{a}	2.12±0.10^{a}
1	25	18.70±1.68^{a}	454.41±42.85^{ab}	2.04±0.09^{ab}
1	50	15.98±1.54^{b}	380.22±48.73^{c}	1.86±0.12^{c}
1	75	15.19±1.32^{bc}	356.25±41.44^{cd}	1.80±0.11^{c}
1	100	13.29±1.80^{cd}	299.85±53.28^{de}	1.65±0.16^{d}
2	0	19.94±1.55^{a}	492.92±53.07^{a}	2.12±0.10^{a}
2	25	18.73±1.67^{a}	463.45±47.63^{ab}	2.06±0.10^{ab}
2	50	16.39±1.73^{b}	399.69±55.33^{bc}	1.91±0.13^{bc}
2	75	12.29±1.14^{d}	275.54±41.13^{e}	1.57±0.13^{d}
2	100	8.99±1.74^{e}	171.95±23.29^{f}	1.18±0.10^{e}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

[2]1 = ผลิตภัณฑ์ป่น ; 2 = โปรตีนไฮโดรไลเสต

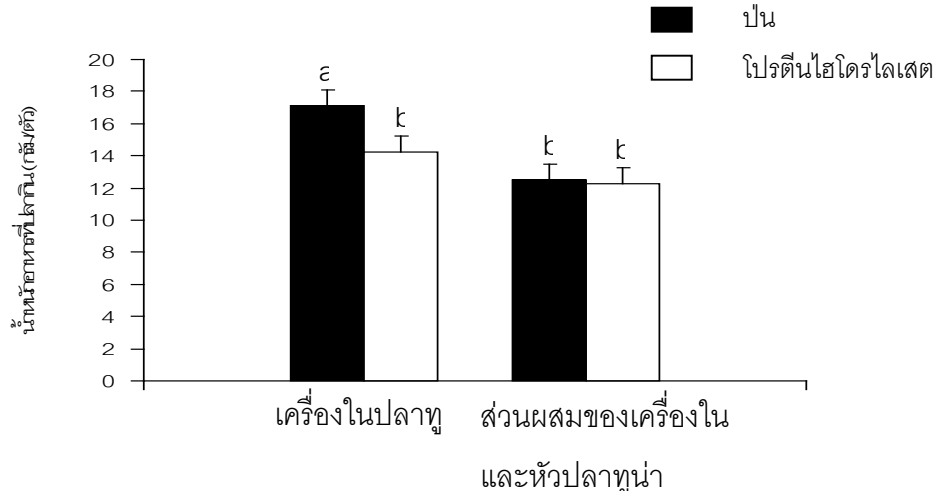
[3]เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) – น้ำหนักเริ่มต้น(กรัม/ตัว))x 100/น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)

[4]อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ =ln w_2-ln w_1x100/ t_2-t_1

4.5.3 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และอัตราการรอดตาย

น้ำหนักอาหารที่ปลากินของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 20 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่า ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับของการแทนที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณอาหารที่ปลากิน แต่ชนิดของวัตถุดิบและชนิดของผลิตภัณฑ์มีอิทธิพลร่วมกันต่อการกินอาหารของปลา ($p<0.05$) โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่น มีน้ำหนักอาหารที่กินสูงกว่าการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลา ทูน่า ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าทั้งในรูปของป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต (ภาพที่ 9)

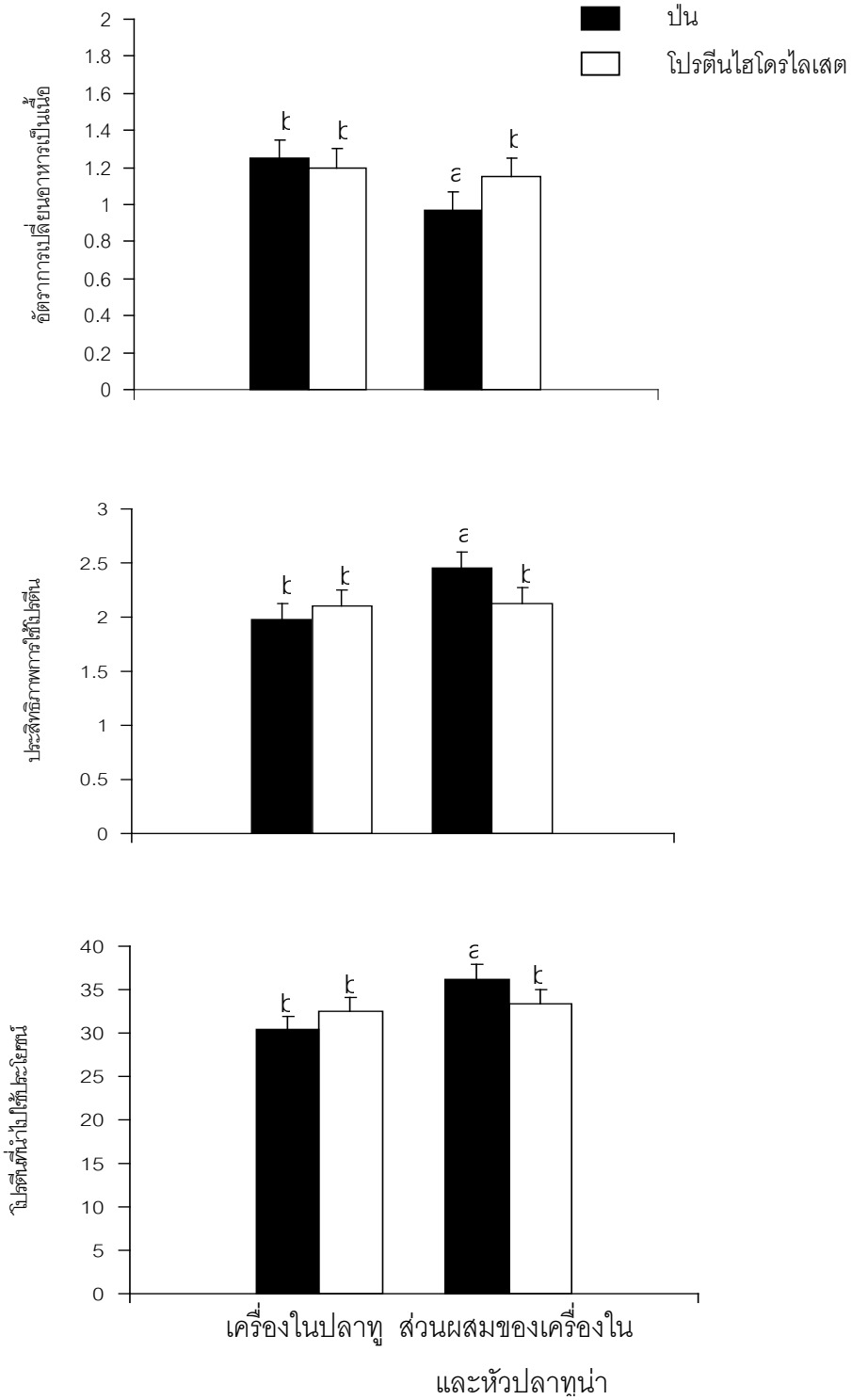
ชนิดของวัตถุดิบและระดับการแทนที่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการกินอาหารของปลา โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักอาหารที่กินไม่แตกต่างกับการแทนที่ที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณที่สูงกว่าการแทนที่ด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับการแทนที่ 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (ตารางที่ 14) ถึงแม้ว่าอิทธิพลของปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) แต่น้ำหนักอาหารที่กินของปลาที่ได้รับเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 25 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ได้รับปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก การกินอาหารของปลายังมีอิทธิพลจากชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับการแทนที่ โดยน้ำหนักอาหารที่กินของปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ต่ำกว่าอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นทั้งจากเครื่องใน และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า โดยปลาจะยอมรับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับการแทนที่สูงขึ้นได้น้อยกว่าการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นที่ระดับเดียวกัน ทำให้น้ำหนักอาหารที่ปลากินมีปริมาณน้อย (ตารางที่ 15)



ภาพที่ 9 น้ำหนักอาหารที่ปลากินของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีเครื่องในและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าในรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับของการแทนที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ แต่พบว่าชนิดของวัตถุดิบและชนิดของผลิตภัณฑ์มีอิทธิพลร่วมกันต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น มีค่าดังกล่าวดีกว่า ($p<0.05$) การแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า เครื่องในปลาทูน่าทั้งในรูปของผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต (ภาพที่ 10)

ชนิดของวัตถุดิบและระดับการแทนที่ มีผลร่วมกันต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (ตารางที่ 14) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และปลาที่ได้รับอาหารที่มีเครื่องในปลาทูน่าแทนที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำรองลงมา ($p<0.05$) สำหรับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตก็มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้โปรตีน เมื่อแทนที่ปลาป่นที่ระดับต่างๆ (ตารางที่ 15) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ป่นที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุดเท่ากับ 1.74 ± 0.33 และมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำที่สุดเท่ากับ 1.39 ± 0.31 รองลงมาคือปลาที่ได้รับโปรตีนชนิดเดียวกันที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.92 ± 0.25 ตามลำดับ ขณะที่การแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตทุกระดับมีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$)



ภาพที่ 10 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีเครื่องในและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าในรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน

ผลการศึกษาในส่วนของปริมาณอาหารที่กิน สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของปลากะพงขาวในการศึกษาครั้งนี้ โดยปลายอมรับอาหารที่มีเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างจากอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก จึงทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันการแทนที่ปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตในระดับที่สูงขึ้น ทำให้ปริมาณอาหารที่ปลากินลดลง เนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเสตเมื่อใส่ลงในอาหารในปริมาณมากจะทำให้อาหารมีรสขม ทำให้ปลายอมรับอาหารลดลง (Refstie *et al*., 2004) ซึ่งรสขมที่เกิดขึ้นเนื่องจากในขั้นตอนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของโปรตีน โดยการตัดสายเปปไทด์ที่มีสายโซ่ยาวให้เป็นกรดอะมิโนอิสระหรือเปปไทด์สายสั้นๆ ซึ่งทำให้เกิดกรดอะมิโนกลุ่มไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยเฉพาะไอโซลูซีน ลูซีน พีนิลอาลานีน ทริบโตเฟน และวาลีน (Mackie, 1982) โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้จากเครื่องในปลาทูน่า และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าจึงมีรสขม ในขณะที่การแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นมีปริมาณการกินอาหารสูงกว่า เนื่องจากขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ป่นไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของโปรตีนทำให้ไม่เกิดรสขม จากการทดลองพบว่าการแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่น จะมีน้ำหนักอาหารที่ปลากินมากกว่าการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจะมีการกินอาหารลดลง เมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้นจาก 25 เปอร์เซ็นต์ เป็น 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ Refstie และคณะ (2004) พบว่าปลาแอตแลนติกแซลมอนจะมีปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับอาหารที่มีการเติมโปรตีนไฮโดรไลเสต 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ การเติมโปรตีนไฮโดรไลเสตลงในอาหารในระดับที่ไม่มากและน้อยเกินไปจะส่งผลให้ปลาแอตแลนติก แซลมอนมีการเจริญเติบโตดีขึ้น (Berge and Store bakken, 1996) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ในการแทนที่ด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่าการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่า เนื่องจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่ามีปริมาณกรดอะมิโนในอาหารที่ปลาได้รับน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจึงมีค่าลดลง และการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจะมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ป่นเมื่อมีการแทนที่ระดับ 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าปลาจะมีปริมาณการกินอาหารที่แทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นสูงกว่าก็ตาม เนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเสตจะมีการย่อยของโปรตีนในขั้นตอนการผลิตทำให้ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่า ซึ่งต่างจากผลิตภัณฑ์ป่นที่ไม่มีการย่อยโปรตีนในขั้นตอนการผลิต Refstie และคณะ (2004) พบว่าการแทนที่ปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนในอาหารได้ดีกว่าสูตรที่มีโปรตีนจากปลาป่นเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ประสิทธิภาพการ

ย่อยโปรตีนในอาหารของปลาที่มีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต ที่ระดับ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่มีโปรตีนจากปลาป่นเพียงอย่างเดียว โปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นโปรตีนที่ผ่านการย่อยในขั้นตอนการผลิต เมื่อนำมาแทนที่ปลาป่นในระดับ 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ปลาจะมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่น เนื่องจากปลาจะมีการย่อยสลายโปรตีนจากอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และเก็บสะสมไว้ในร่างกายบางส่วน โปรตีนส่วนเกินจะถูกขับออกนอกร่างกาย ดังนั้นอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสตในระดับสูงปลาจะดูดซึมโปรตีนที่ผ่านการย่อยแล้วได้ดี แต่เนื่องจากเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด ดังนั้นกรดอะมิโนที่เหลือจะถูกขับออกจากร่างกายในปริมาณมากกว่าอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ป่น ซึ่งปลาจะย่อยโปรตีนและสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตได้ดีกว่า

จากผลการทดลองพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยวัสดุเศษเหลือที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในปลาป่น จะมีการเจริญเติบโต น้ำหนักอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก และจะมีค่าลดลงตามระดับการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นในอาหารที่เพิ่มขึ้น แต่สามารถทดแทนปลาป่นในอาหารได้ในปริมาณที่สูงกว่าการการแทนที่ด้วยถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน โดย Tantikitti และคณะ (2005) พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในปลาป่น จะมีการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม แต่เมื่อระดับการแทนที่ด้วยถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้นจะทำให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ขณะที่จูอะดีและมะลิ (2538) ศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดในอัตราส่วน 5:3 แทนที่ปลาป่นในอาหารปลากะพงขาว พบว่าสามารถใช้แทนที่ได้ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ของปลาป่นในอาหาร โดยปลามีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างจากอาหารสูตรควบคุม และเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่จะทำให้การเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนลดลง เนื่องจากปลาจะมีความสามารถในการย่อยโปรตีนจากกากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดได้น้อยกว่าปลาป่น ทั้งนี้น่าจะเกิดจากคาร์โบไฮเดรทในกากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดซึ่งย่อยยาก รวมทั้งกากถั่วเหลืองมีความไม่สมดุลของกรดอะมิโน และสารต้านโภชนาการสูง ส่วน Stone และคณะ (2000) พบว่าปลา Australian silver perch ซึ่งเป็นปลากินทั้งพืชและเนื้อ (omnivorous) สามารถใช้เนื้อป่นทดแทนปลาป่นในอาหารได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ และบางการศึกษากล่าวว่าสามารถใช้เนื้อป่น และเนื้อและ

กระดูกป่นทดแทนปลาป่นในอาหารปลา barramundi (*Lates calcarifer*) ได้บางส่วน ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากปลากะพงซึ่งเป็นปลากินเนื้อ (carnivorous) จึงทำให้แทนที่ได้ในปริมาณน้อยกว่าปลากินพืชและปลากินทั้งพืชและเนื้อ

อัตราการรอดตายของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 20 สูตรดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่า อยู่ในช่วง 86.66 ถึง 93.33 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากปลาที่ใช้ทดลองมีขนาดใหญ่มีการยอมรับอาหารทดลองได้ดี ในขณะที่ Cahu (2004) พบว่าปลากะพง *Dicentrarchus labrax* ที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ จะมีอัตราการรอดตายสูงกว่าปลาที่ไม่รับอาหารที่มีการแทนที่ระดับ 46 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Cahu และคณะ (1999) พบว่าลูกปลากะพงวัยอ่อน *Dicentrarchus labrax* จะมีอัตราการรอดตายสูงเมื่อได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่น ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการรอดตายจะลดลงเมื่อระดับการแทนที่ปลาป่นในอาหารเท่ากับ 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Yufera และคณะ (1999) พบว่า ลูกปลา gilthead seabream ที่เลี้ยงด้วยอาหารซึ่งประกอบด้วย เคซีน โปรตีนปลาไฮโดรไลเสต ปลาหมึกป่น เดกตริน ไขมันและวิตามินผสมสามารถทดแทนอาหารมีชีวิต เช่น โรติเฟอร์ได้ โดยอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายไม่มีความแตกต่างกับลูกปลาที่ได้รับโรติเฟอร์เป็นอาหาร เช่นเดียวกับการศึกษาของ Cahu และคณะ (1998) พบว่าลูกปลากระพง *Dicentrarchus labrax* จะมีอัตราการรอดตายสูงเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสตและยีสต์เป็นแหล่งโปรตีน โดยมีอัตรารอดตายสูงกว่าลูกปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้โปรตีนเข้มข้นจากกากถั่วเหลืองและยีสต์เป็นแหล่งโปรตีน และสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนอย่างเดียว ส่วนลูกปลาไนจะมีอัตราการรอดตายสูงเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสตและยีสต์เป็นแหล่งโปรตีน โดยมีอัตรารอดตายสูงกว่าลูกปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้โปรตีนเข้มข้นจากกากถั่วเหลืองและยีสต์เป็นแหล่งโปรตีน และจะมีอัตราการรอดตายต่ำสุดเมื่อได้รับสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนอย่างเดียว

ตารางที่ 13 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และอัตราการรอดตายของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตระดับต่างๆ กัน [1]

ชนิดของวัตถุดิบ [2]	ชนิดของผลิตภัณฑ์ [3]	ระดับการแทนที่ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ [4]	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน [5]	โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ [6]	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) [7]
1	1	0	15.79±0.22	0.96±0.11	2.47±0.30	38.64±4.75	93.33±6.67
1	1	25	20.21±1.42	1.24±0.08	1.85±0.12	29.73±1.93	88.89±3.85
1	1	50	15.69±6.12	1.13±0.36	2.20±0.66	32.58±9.62	88.89±3.85
1	1	75	13.86±2.69	1.15±0.13	2.07±0.26	31.06±3.85	93.33±6.67
1	1	100	20.00±0.95	1.78±0.26	1.32±0.18	19.98±2.82	88.89±3.85
1	2	0	15.79±0.22	0.96±0.11	2.47±0.30	38.64±4.75	93.33±6.67
1	2	25	18.42±0.57	1.12±0.07	2.07±0.13	33.61±2.07	88.89±3.85
1	2	50	13.27±1.90	0.91±0.15	2.62±0.42	39.29±6.29	93.33±6.67
1	2	75	10.12±1.12	1.06±0.15	2.25±0.31	36.27±4.92	93.33±0.00
1	2	100	4.82±0.74	0.83±0.09	2.83±0.31	32.97±4.03	88.89±3.85
2	1	0	15.79±0.22	0.96±0.11	2.47±0.30	38.64±4.75	93.33±6.67
2	1	25	13.40±3.90	0.94±0.28	2.61±0.71	40.40±10.94	93.33±6.67
2	1	50	12.49±1.77	1.07±0.11	2.19±0.21	33.34±3.15	88.89±3.85
2	1	75	15.36±1.67	1.32±0.10	1.78±0.15	27.73±2.34	91.11±3.85
2	1	100	14.26±2.39	1.69±0.45	1.46±0.43	22.14±6.55	86.67±0.00

ตารางที่ 13 (ต่อ) [1]

ชนิดของวัตถุดิบ[2]	ชนิดของผลิตภัณฑ์ [3]	ระดับการแทนที่ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ [4]	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน [5]	โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ [6]	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) [7]
2	2	0	15.79±0.22	0.96±0.11	2.47±0.30	38.64±4.75	93.33±6.67
2	2	25	15.15±0.98	1.07±0.12	2.18±0.22	37.28±3.77	88.89±3.85
2	2	50	11.20±1.39	0.97±0.09	2.46±0.23	39.66±3.59	93.33±6.67
2	2	75	11.44±2.94	1.35±0.22	1.78±0.29	27.37±4.44	88.89±3.85
2	2	100	7.87±1.50	1.42±0.16	1.68±0.20	24.06±2.74	91.11±3.85
ชนิดวัตถุดิบ			0.01	0.230	0.226	0.793	0.865
ชนิดผลิตภัณฑ์			0.0001	0.002	0.009	0.015	0.510
ระดับการแทนที่			0.0001	0.0001	0.0001	0.077	0.267
ชนิดวัตถุดิบ*ชนิดผลิตภัณฑ์			0.023	0.023	0.012	0.0001	0.865
ชนิดวัตถุดิบ*ระดับการแทนที่			0.009	0.047	0.014	0.036	0.757
ชนิดผลิตภัณฑ์*ระดับการแทนที่			0.0001	0.001	0.008	0.264	0.500
ชนิดวัตถุดิบ*ชนิดผลิตภัณฑ์*ระดับการแทนที่			0.083	0.226	0.408	0.649	0.861

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) [2]1 = เครื่องในปลาทูน่า ; 2 = ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า (2:1) [3]1 = ผลิตภัณฑ์ปั่น ; 2 = โปรตีนไฮโดรไลเสต

[4]อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ =น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัมต่อตัว) / น้ำหนักเพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)

[5]ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน= น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

[6]โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ =โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x 100/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)

[7]อัตรารอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x 100/จำนวนปลาเริ่มต้น

ตารางที่ 14 อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างชนิดของวัตถุดิบและระดับการแทนที่ต่อน้ำหนักอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และอัตราการรอดตายของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าระดับต่างๆ กัน [1]

ชนิดของวัตถุดิบ[2]	ระดับการแทนที่ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ [3]	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน [4]	โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ [5]	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) [6]
1	0	15.79±0.20 ^{ab}	0.96±0.10 ^{a}	2.47±0.27^{a}	38.64±4.25^{a}	93.33±5.96
1	25	19.32±1.38 ^{a}	1.18±0.10 ^{abc}	1.96±0.16^{abc}	31.67±2.78^{ab}	88.89±3.44
1	50	14.48±4.26 ^{b}	1.02±0.28 ^{ab}	2.41±0.54^{a}	35.94±8.15^{a}	91.11±5.44
1	75	11.99±2.75 ^{b}	1.11±0.13 ^{abc}	2.16±0.27^{ab}	33.67±4.88^{ab}	93.33±4.22
1	100	12.41±8.35 ^{b}	1.31±0.55 ^{bcd}	2.08±0.86^{ab}	26.47±7.77^{bc}	88.89±3.44
2	0	15.79±0.20 ^{ab}	0.96±0.10 ^{a}	2.47±0.27^{a}	38.64±4.25^{a}	93.33±5.96
2	25	14.28±2.71 ^{b}	1.00±0.20^{a}	2.40±0.53^{a}	38.84±7.52^{a}	91.11±5.44
2	50	11.85±1.59 ^{b}	1.02±0.10 ^{ab}	2.33±0.24^{a}	36.50±4.59^{a}	91.11±5.44
2	75	13.40±3.03^{b}	1.33±0.15 ^{cd}	1.78±0.21^{bc}	27.55±3.18^{bc}	90.00±3.65
2	100	11.07±3.93 ^{b}	1.56±0.33 ^{d}	1.57±0.32^{c}	23.10±4.61^{c}	88.89±3.44

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

[2]1 = เครื่องในปลาทูน่า ; 2 = เครื่องในและหัวปลาทูน่า (2:1)

[3]อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ =น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัมต่อตัว) / น้ำหนักเพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)

[4]ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน= น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

[5]โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ =โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x 100/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม) [6]อัตรารอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x 100/จำนวนปลาเริ่มต้น

ตารางที่ 15 อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับการแทนที่ต่อน้ำหนักอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และอัตราการรอดตายของปลากะพงขาว ที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ปันและโปรตีนไฮโดรไลเสตระดับต่างๆ กัน [1]

ชนิดของผลิตภัณฑ์ [2]	ระดับการแทนที่ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ [3]	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน [4]	โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ [5]	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) [6]
1	0	15.79±0.20 ^{a}	0.96±0.10 ^{a}	2.47±0.27^{ab}	38.64±4.25	93.33±5.96
1	25	16.81±4.56 ^{a}	1.09±0.25 ^{a}	2.23±0.62 ^{ab}	35.06±9.14	91.11±5.44
1	50	14.09±4.39 ^{ab}	1.10±0.24 ^{a}	2.20±0.44 ^{ab}	32.96±6.42	88.89±3.44
1	75	14.61±2.16 ^{ab}	1.24±0.14 ^{a}	1.92±0.25 ^{b}	29.40±3.39	92.22±5.02
1	100	17.13±3.54 ^{a}	1.74±0.33 ^{b}	1.39±0.31 ^{c}	21.06±4.66	87.78±2.72
2	0	15.79±0.20 ^{a}	0.96±0.10 ^{a}	2.47±0.27 ^{ab}	38.64±4.25	93.33±5.96
2	25	16.79±1.93 ^{a}	1.10±0.09^{a}	2.13±0.17 ^{ab}	35.44±3.38	88.89±3.44
2	50	12.24±1.87 ^{bc}	0.94±0.12 ^{a}	2.54±0.31 ^{a}	39.48±4.58	93.33±5.96
2	75	10.78±2.11^{c}	1.21±0.23 ^{a}	2.02±0.37 ^{ab}	31.82±6.43	91.11±3.44
2	100	6.35±1.98 ^{d}	1.12±0.35 ^{a}	2.26±0.67 ^{ab}	28.51±5.77	90.00±3.65

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

[2]1 = ผลิตภัณฑ์ปัน ; 2 = โปรตีนไฮโดรไลเสต

[3]อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ =น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัมต่อตัว) / น้ำหนักเพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)

[4]ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน= น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

[5]โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ =โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x 100/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม) [6]อัตรารอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x 100/จำนวนปลาเริ่มต้น

4.5.4 องค์ประกอบทางโภชนาการของปลากะพงขาว

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของร่างกายปลากะพงขาวก่อนการทดลองและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าปลากะพงขาวก่อนการทดลองมีความชื้น 76.24 $\pm$ 0.25 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 16.71 $\pm$ 0.79 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.29 $\pm$ 0.41 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 4.04 $\pm$ 0.20 เปอร์เซ็นต์ แสดงในตารางที่ 16 ส่วนองค์ประกอบทางโภชนาการของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 20 สูตรเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับการแทนที่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าของปลากะพงขาว ($p<0.05$) โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำมีโปรตีนอยู่ในช่วง 12.84 $\pm$ 0.12 – 15.63 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยอาหารสูตรอื่นๆ โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 16

ปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 2.44 $\pm$ 0.10 – 4.39 $\pm$ 0.09 เปอร์เซ็นต์ โดยไขมันของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำที่สุด ($p<0.05$) และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 25 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีไขมันสูงกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 16

ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 3.76 $\pm$ 0.06 – 5.25 $\pm$ 0.09 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณเถ้าสูงกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยอาหารสูตรอื่นๆ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 16

ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับการแทนที่ ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณความชื้นของปลากะพงขาว ($p<0.05$) โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยวัสดุเศษเหลือโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 73.53 $\pm$ 1.22 – 79.32 $\pm$ 2.73 เปอร์เซ็นต์

องค์ประกอบทางเคมีของปลาหลังทดลอง แสดงให้เห็นว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า โปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ปริมาณโปรตีนในร่างกายปลาต่ำกว่าปลาเริ่มทดลอง และปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่นๆ เพราะปลาที่ได้รับอาหารสูตรดังกล่าวมีปริมาณอาหารที่ปลากินน้อยกว่าและอาหารมีโปรตีนซึ่งมีคุณภาพต่ำ ทำให้มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตของปลาได้ เป็นผลให้ปลามีการนำโปรตีนในร่างกายบางส่วนมาใช้เพื่อการดำรงชีวิตส่งผลให้โปรตีนในร่างกายของปลาลดลง เช่นเดียวกับปริมาณไขมันในปลาทดลองที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าในระดับ 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีไขมันต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่นๆ เนื่องจากปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรดังกล่าวจะมีการเจริญเติบโตน้อยทำให้ปริมาณไขมันในตัวปลาต่ำไปด้วย และพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีน้ำหนักอาหารที่ปลากินมากที่สุดมีการเจริญเติบโตดี ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันในตัวปลาเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดย Choo และคณะ (1991) กล่าวว่าเมื่อปลามีการเจริญเติบโต น้ำหนักของปลาเพิ่มขึ้น ทำให้ไขมันในตัวปลาเพิ่มขึ้นเช่นกัน เช่นเดียวกับปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีการเจริญเติบโตดี ทำให้ปริมาณไขมันในตัวปลาสูงกว่าปลาที่มีการเจริญเติบโตน้อยกว่า

4.5.5 คุณภาพน้ำในตู้ทดลอง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลอง พบว่าอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 27.02 ถึง 28.64 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด – ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 7.85 ถึง 8.07 ความเป็นด่างค่าอยู่ระหว่าง 102 ถึง 116 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำค่าอยู่ระหว่าง 6.00 ถึง 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเค็มค่าอยู่ระหว่าง 28 ถึง 30 ส่วนในพัน และแอมโมเนียรวมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.06 ถึง 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลา

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางโภชนาการของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำเป็นเวลา 10 สัปดาห์

สูตรอาหาร	องค์ประกอบทางโภชนาการ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสด) [1]			
	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ความชื้น
ปลาก่อนทดลอง	16.71 ± 0.79	1.29 ± 0.41	4.04 ± 0.20	76.24 ± 0.25
1	15.29 ± 0.03 ^{c}	3.62 ± 0.08 ^{d}	4.36 ± 0.10 ^{de}	75.25 ± 2.23
2	15.56 ±0.26 ^{ab}	4.39 ± 0.09 ^{a}	5.25 ± 0.09 ^{a}	73.53 ± 1.22
3	14.69 ± 0.12 ^{ef}	3.95 ± 0.04 ^{c}	4.05 ± 0.09 ^{gh}	75.92 ± 3.34
4	14.65 ± 0.15 ^{f}	3.36 ± 0.16 ^{e}	4.22 ± 0.10 ^{ef}	75.86 ± 4.33
5	14.85 ± 0.11 ^{def}	4.26 ± 0.14 ^{ab}	4.14 ± 0.07 ^{fgh}	75.83 ± 4.38
6	15.29 ± 0.03 ^{c}	3.62 ± 0.08 ^{d}	4.36 ± 0.10 ^{de}	75.25 ± 2.23
7	14.83 ± 0.21 ^{def}	4.14 ± 0.14 ^{b}	4.20 ± 0.09 ^{efg}	75.20 ± 2.58
8	14.80 ± 0.04 ^{def}	2.79 ± 0.19 ^{f}	4.26 ± 0.19 ^{ef}	76.07 ± 2.21
9	15.01 ± 0.09 ^{d}	3.89 ± 0.07 ^{c}	4.02 ± 0.13 ^{h}	75.13 ± 3.80
10	14.83 ± 0.06 ^{def}	3.31 ± 0.11 ^{e}	4.62 ± 0.03 ^{c}	75.47 ± 2.73
11	15.29 ± 0.03 ^{c}	3.62 ± 0.08 ^{d}	4.36 ± 0.10 ^{de}	75.25 ± 2.23
12	15.30 ± 0.23 ^{c}	3.58 ± 0.07 ^{d}	4.47 ± 0.04 ^{cd}	75.22 ± 3.53
13	14.22 ± 0.01 ^{h}	2.68 ± 0.04 ^{f}	4.33 ± 0.13 ^{de}	77.31 ± 3.17
14	15.43 ± 0.14 ^{abc}	3.22 ± 0.04 ^{e}	4.46 ± 0.05 ^{cd}	76.80 ± 2.26
15	12.84 ± 0.12 ^{i}	2.81 ± 0.15 ^{f}	3.76 ± 0.06 ^{i}	79.32 ± 2.73
16	15.29 ± 0.03 ^{c}	3.62 ± 0.08 ^{d}	4.36 ± 0.10 ^{de}	75.25 ± 2.23
17	15.63 ± 0.13 ^{a}	3.30 ± 0.09 ^{e}	4.55 ± 0.09 ^{c}	74.22 ± 1.75
18	15.39 ± 0.11 ^{bc}	3.23 ± 0.13 ^{e}	4.33 ± 0.05 ^{de}	76.33 ± 4.61
19	14.91 ± 0.18 ^{de}	2.87 ± 0.09 ^{f}	4.82 ± 0.05 ^{b}	75.58 ± 0.57
20	14.43 ± 0.06 ^{g}	2.44 ± 0.10 ^{g}	4.38 ± 0.06 ^{de}	77.55 ± 2.92

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)